

Title	海水中の重水と水系
Author(s)	野満, 隆治; 大塚, 昌三
Citation	地球物理 (1943), 6(2): 79-94
Issue Date	1943-08-25
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2433/178302">http://hdl.handle.net/2433/178302</a>
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	publisher

# 地球物理

## 第 6 卷 第 2 號

昭和 17 年 9 月

### 論 說

#### 海 水 中 の 重 水 と 水 系\*

理學博士 野 滿 隆 治

理 學 士 大 塚 昌 三

#### 緒 言

重水なるものの存在が発見せられると、深い海洋中などには重水が層重状態をして、下層深部には重い水が豊富になつて居ないかとの豫想を懐くのは自然の勢である。それで海水中の重水を測定した人も少くない。例へばギルフィラン<sup>(1)</sup>は1934年太西洋の一點深さ4500米の水を精製して、北米ケンブリッジの水道水と比較し、2.3 ガンマ重いことを示し、間もなくワッシバーン等<sup>(2)</sup>も太西洋一點の深度3000米から採つた海水がワシントン水道水に比して2ガンマだけ重水に富むことを報告した。然るに同年グリーン等<sup>(3)</sup>も太西洋一點の表面海水を精製して北米ケンブリッジ水道水より1.8 ガンマ 重いことを知つた。之によると海水は概して重水に富む様であるが、上下の差は僅微であることが分る。又エメレウス氏<sup>(4)</sup>等も北氷洋二點の表面水がロンドン水道水に比し一は1.4、他は4.2 ガンマも重いことを報告して居る。

\*、本文は昭和11年3月東京に於て日本數學物理學會總會席上に講演した。

(1) E. S. Gilfillan: Journ. Am. Chem. Soc., **56** (1934) 406.

(2) E. W. Washburn & E. R. Smith: Bur. Standard J. Research, **12** (1934), 305.

(3) C. H. Greene & R. J. Voskuyl: Jour. Am. Chem. Soc., **56**, (1934), 1649.

(4) H. J. Emeléus & others: Jour. Chem. Soc. (1934), 1907, 1948.

## 海水中の重水と水系

次でワース等は、太平洋で3點、印度洋・紅海・地中海・バルチック海・南氷洋各1點の海水を、ワシントン水道水に比較して地方的差異を窺つたが、バルチックの如き河水流入の多い處は重水が比較的少く+0.5 ガンマ以下であり、大洋の水は比較的に重く1.0~1.7 ガンマの値を示した。而して各地點とも二三の深度、特にヴァンクーバー沖の如きは13深度につき測定して居るが、何れも上下には大差ない。例へばヴァンクーバー沖の重水垂直分布は、表層50米までが1.51~1.56 ガンマ、それより600米までが1.19~1.44 ガンマで幾分減少し、更に1800米までは再び増加して1.58~1.67 ガンマとなるが、2000米では復減少して1.12 ガンマとなつて、上下の差は僅少であるのみならず、下層が必ずしも重水に富むわけではないのである。

兎も角此の様に海水の重水濃度が測定された地點は總計すれば十數地點に及んで居るといふものの、實は各大洋とも僅かに飛び離れた數點にすぎないので、海上の重水分布といふ問題には殆んど觸れることが出来ない。

然るに重水が一般に海水中に豊富なる理由は蒸發による自然濃縮の爲だと解せられる。果して然らば蒸發の旺盛な南方海面若くはそれに由來する暖流の水は、他の所の海水よりも重水の濃度大なることが豫想せられる。之に反し降水は當然重水少かるべく、又氷結によつても殘液中には重水の自然濃縮が行はれ氷は輕水に富む筈であるから、重水濃度は萬年氷のある極海水に大きく、氷雪の融解水に涵養せられる寒流には小さいのではないかと想像される。そこで吾々は海上に於ける重水分布を研究して、その濃度が海の南部と北部とで如何に變るか、又海流との關係如何等を検討する目的を以て、昭和14年水路部に依頼し北太平洋西部の海水を成るべく多數の地點から採取して貰ひ、其の重水濃度を測定した。本文は其の結果報告である。

採水地點は次節に述ぶる様に、本州南方海面で黒潮流域を横斷し30點、カムチャツカ東岸親潮系内で5點、東支那海流の流域に當る黃海沿岸5點、計40點であつたが、研究の結果は相當興味ある事實が発見され、特に黒潮系と親潮系との相異や同一海流系内での南北に互る系統的な變化などが吾人の注意を惹いた。然し遺憾なことには、三陸沖合の暖寒流交會區附近や親潮的主流千島沿岸に於ける水を缺いて居る爲、暖寒流間の轉移狀況が充分

(7) H. E. Wirth, T. G. Thompson and C. L. Utterback: Jour. Am. Chem. Soc. 57 (1935), 400; Nature, 135 (1935), 662.

海 水 中 の 重 水 と 水 系

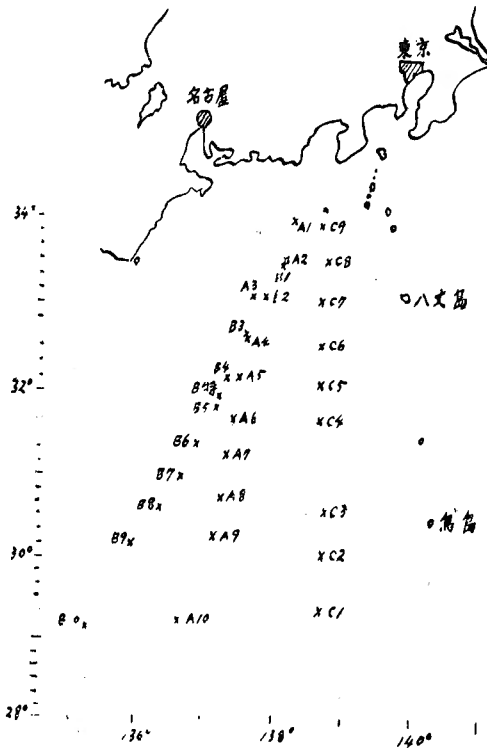
第1表 採水の位置と日時

試料番號	採水年月日	時刻	採取位置	緯度	採取位置	經度
A 1	昭和14—6—2	24.00	33°	59.8	138°	14.3
A 2		3 05.00	33	29.5	138	5.2
A 3		3 09.00	33	6.5	137	42.0
A 4		3 13.20	32	38.5	137	37.2
A 5		3 17.20	32	10.4	137	29.0
A 6		3 21.30	31	41.5	137	24.6
A 7		4 02.20	31	13.1	137	20.2
A 8		4 06.15	30	44.3	137	15.9
A 9		4 10.30	30	16.8	137	8.0
A 10		4 18.15	29	15.5	136	41.7
B 1		27 02.40	33	28.0	138	3.5
B 2		27 06.40	33	8.0	137	51.0
B 3		27 10.40	32	40.0	137	33.7
B 4		27 15.00	32	11.0	137	20.0
B 特		27 18.00	31	59.5	137	15.0
B 5		27 21.00	31	47.5	137	8.0
B 6		28 01.15	31	22.5	136	53.0
B 7		28 05.30	30	58.0	136	38.2
B 8		28 10.40	30	34.5	136	20.7
B 9		28 14.15	30	10.0	135	57.5
B 10		28 18.30	29	8.2	135	21.0
C 1		20 09.45	29	21.8	138	39.8
C 2		20 14.00	30	3.9	138	40.8
C 3		20 21.00	30	35.5	138	41.7
C 4		21 06.30	31	39.4	138	37.5
C 5		21 10.30	32	6.0	138	37.0
C 6		21 15.00	32	32.9	138	39.5
C 7		21 19.00	33	3.6	138	38.4
C 8		21 23.25	33	29.8	138	42.2
C 9		22 04.15	33	56.3	138	36.6
D 1	昭和14—7—17	15.00	33	36.5	120	31.0
D 2		18 10.00	33	54.5	120	47.5
D 3		24 13.00	34	34.0	120	15.0
D 4		28 20.00	34	14.0	120	40.0
D 5	8—4	15.00	33	33.0	120	45.0
E 1	昭和14—8—17	11.00	50	48.0	156	42.0
E 2		17 17.00	51	42.0	158	16.5
E 3		17 23.00	52	40.0	159	55.0
E 4		18 05.00	53	50.0	161	30.0
E 5		18 11.00	54	50.0	162	15.0

に闡明出来ない。よつて吾々は更に同方面の海水を採取して重水測定を續行し、一連の研究に繼め上げたい希望を懷き今日に及んだのであるが、大東亞戰の勃發により到底不可能の状態となつたので止むを得ず部分報告をして置く次第である。

## 1. 採水位置

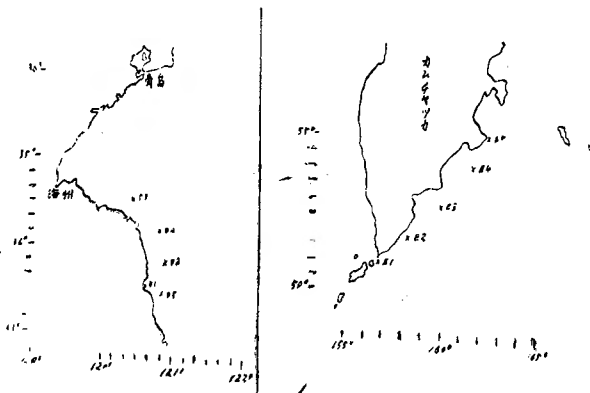
第1圖 採水位置



採水は、本邦東海道南方沖で南西乃至南方の三線(A, B, C線と名づく)上30點と、カムチャツカ半島の東南沿岸の一線(E線と名づく)上に5點、黄海の支那沿岸の一線(D線と名づく)上に5點と、計40點で行はれた。其の位置と採水日時は第1圖及び第1表の如くである。海水資料の番號は便宜上つけたもので、全部表面水である。尙ほ採水前には何れも降雨はなかつた由で、先づ純粹に海水のみ採取されて居ると考へてよい。

## 2. 重水濃度測定

是等の海水中に於ける重水濃度を決



海水中の重水と水系

定するには、嘗て報告したことの<sup>(6)</sup>ある別府温泉の重水濃度測定法に準じた。即ち海水を京都市水道水と系列につないで電解し、重水の濃縮を行つた後に蒸溜精製し、恒温槽内で其の比重を小浮子の平衡温度から決定したのである。但し電解を行ふ前に、海水は勿論、標準とすべき水道水をも一應蒸溜して鹽分を除去したる上、一定量の苛性加里を加へて同じ條件のものとする。かくて各資料水 360 cc を三本の全く同じ電解管に 120 cc づゝ分注し、同様に水道水を分注した三本の電解管と共に交互に配列して、全く同條件の下に系列に電解濃縮を行ふのである。電解進行して電解管内の水量が一定度減すれば、同一資料水の分管は之を合併して順次管数を少くして行く。かやうにして約一週間電解をつゞけ、各資料水の濃縮液がもとの十分の一程度(實際は 28~37cc)までに至らしめる。此の殘液に  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  を加へて苛性加里を中和し、充分注意して減壓蒸溜を行ひ精製する。精製蒸溜水を特製の容器に入れ、その中に小さい石英浮子を浮べて恒温槽内に裝備し、温度を調節して浮子の

第2表 重水濃度測定値

[I] 本州南方海面

試料水	重水濃度	試料水	重水濃度	試料水	重水濃度
A 1	-1.42	B 1	+0.90	C 1	+2.86
A 2	+0.82	B 2	+1.70	C 2	+0.24
A 3	+1.04	B 3	+1.66	C 3	+1.29
A 4	+1.23	B 4	+3.88	C 4	+0.53
A 5	+2.10	B 特	+2.36	C 5	+5.25
A 6	+4.14	B 5	+2.12	C 6	+3.16
A 7	+2.20	B 6	+8.52	C 7	-2.47
A 8	+4.42	B 7	+1.58	C 8	-1.97
A 9	+4.86	B 8	+2.54	C 9	-3.87
A 10	+3.51	B 9	+9.47		
		B 10	+3.55		

[II] 黃海支那沿岸

試料水	重水濃度
D 1	-1.86
D 2	-2.16
D 3	-2.09
D 4	-1.58
D 5	-2.36

[III] カムチャツカ東南沿岸

試料水	重水濃度
E 1	+1.19
E 2	-0.57
E 3	-0.87
E 4	-1.10
E 5	-2.53

(6) 野満、大塚、堀：別府温泉の重水(第一報)；地球物理，第4卷(昭和15年)，275。

平衡温度を決定すれば、それより各資料水の標準水道水に対する比重の差従つて重水濃度が定まるのである。

測定の結果は第2表の通りになつた。

此の表を見ただけでも分ることは、

(i) 従来海水には重水が多いと考へられて居たけれども、必ずしもさうではない。成るほど南方の大洋水特に暖流系の水には重水が多いけれども、寒流系や沿岸に近い水には常水よりは重水濃度の小なるものもある。

(ii) 暖流系の水だと重水濃度は南方ほど大で北方に小である。然るに常水よりも重水濃度の小さい寒流系では、北方ほど愈々小さく南方に多い、換言すれば北方ほど重水濃度の負量が大(negative に大)で南方に小となる。即ち重水濃度異常の原因が、暖水系では南方にあり、寒水系では北方にあることが暗示される。之は吾々が最初に豫想した通りであつて、結局暖流系の水は其の發現地たる熱帯方面の強烈な蒸發によつて自然濃縮が行はれ重水濃度を大ならしめ、寒流系の水は其の發現地たる亞寒帶海に於て氷雪の融解水により重水濃度を稀薄ならしめることが明かだと思ふ。

尙ほ是等の數量的検討は次節で詳論する。

### 3. 重水濃度と塩分、水温などとの對照

以上の海水資料採取に際しては水温・鹽分・水素イオン濃度・現場密度等が同時に實測或は算定せられ、海流も亦實測又は力學的計算によつて決定せられて居るから、夫れ等と重水濃度との關係を検討する材料として第3表を掲げる。

(1) 鹽分との關係 先づ資料[I]系統の水に就いて、重水濃度と鹽分又は鹽素量とをプロットして見るに、第2圖左の如く何等の關係も認められない。

此の事實は海中の重水濃度の移動分布機構に對し一の重要な示唆を與ふるもので、或る原因例へば強烈な蒸發による自然濃縮や、天水若くは融氷水によつて自然稀釋が行はれ、重水の著しい過不足が或海區に發生した場合、それが周圍に轉移するのは、水そのものの混合によるよりは、寧ろ所謂重輕水素の交換作用による方が多いことを暗示するものではあるまいか。交換作用といふのは重水濃度の異なる二種の水が相接觸する際には、兩種の水が物理的に混合しなくとも、水分子を構成する重水素と輕水素とが化學的に交換され、兩

海 水 中 の 重 水 と 水 系

第3表 採水点の海況諸元

試料番號	直線距離 (哩)	Cl(‰)	S(‰)	pH	水温(°C)	$\sigma_t$	$\alpha_{s.t.p.}$	海 流	D濃度 (γ)
								流向流速 <sup>kt</sup>	
A	1	31	19.18	34.65	8.34	21.26	24.18	0.97639 ENE 1.5	-1.42
	2	30	23	74	〃	20.42	48	611 ENE 0.9	+0.82
	3	28	17	63	〃	21.18	18	639 N 0.7	+1.04
	4	29	16	61	〃	22.98	23.67	688 N 0.7	+1.23
	5	29	17	63	〃	22.76	74	681 NNW1.2	+2.10
	6	28	13	56	8.24	22.92	64	690 NNW1.8	+4.14
	7	29	15	60	8.34	22.63	75	580 NNW 0	+2.20
	8	29	14	58	〃	23.00	63	691 ESE 2.0	+4.42
	9	65	15	60	8.24	22.89	69	686 EbS 1.8	+4.86
	10		17	63	8.34	22.69	79	676 SE 0.3	+3.51
B	1	23	18.90	34.14	8.34	22.67	23.40	0.97714 NE 0.9	+0.90
	2	31	97	27	〃	22.09	66	689 N 0.7	+1.70
	3	31	98	29	〃	23.87	16	737 NNW0.9	+1.66
	4	12	86	07	〃	24.60	22.78	773 NNW2.0	+3.88
	特	14	91	16	〃	23.80	23.08	744 NNW2.0	+2.36
	5	28	95	23	〃	22.37	41	713 NW 1.8	+2.12
	6	28	96	25	〃	22.29	59	695 S 1.4	+8.52
	7	28	81	33.98	〃	23.48	05	747 SE 1.6	+1.58
	8	32	85	34.05	〃	24.44	22.81	770 SE 1.5	+2.54
	9	69	19.03	38	〃	23.79	23.25	728 SE 0.4	+9.47
C	1	42	19.21	34.70	8.34	23.27	23.64	0.97690 EbN 0.4	+2.86
	2	32	05	42	〃	22.17	75	680 NE 0.4	+0.24
	3	64	12	54	〃	22.88	63	691 NE 0.5	+1.29
	4	26	10	51	〃	21.08	24.12	645 NW 0.4	+0.53
	5	27	14	58	〃	21.02	18	639 NW 0.3	+5.25
	6	31	19	67	〃	22.49	23.84	671 NW 0	+3.16
	7	26	15	60	〃	22.49	79	676 SE 0.2	-2.47
	8	27	18	65	〃	23.27	61	693 EbN 0.3	-1.97
	9		12	54	〃	23.84	36	718 EbN 1.3	-3.87

註. A. B 測點は北方より, C 測點は南方より番號を付しあり。

試料番號	直線距離	天 候	水 温	D 濃 度
D 5	22	半 晴	28.1	-2.36
2	20	〃	26.5	-2.16
4	29	晴	27.5	-1.58
3		〃	26.4	-2.09
1	D 5より7.5	半 晴	26.0	-1.86



海 水 中 の 重 水 と 水 系

試料番號	直線距離	氣 壓	氣 溫	水 溫	風 向	風 速 <small>m/s</small>	D 濃 度
E 1	80	764.8	11.4	6.6	W	8	+1.19
2	84	761.2	16.8	8.0	NW	7	-0.57
3	91	760.4	15.8	8.0	NW	5	-0.87
4	67	757.1	16.0	12.0	NW	7	-1.10
5		762.5	12.5	9.0	N	22	-2.53

水系相互に重水濃度を同一ならしめんとする傾向あることをいひ、其の作用が甚だ活潑迅速に傳播することは疾に學者の唱導する處で、廣大なる面積を占有する陸上の表面水や地下水が重水濃度に於て殆んど全く同一となるのも之が爲だと解せられて居る次第である。

吾々の研究によつて知られた海水の重水濃度が鹽分に無關係なるの一事は亦、この交換作用の重要性を裏書するものと信ずる。蓋し鹽分の轉移はどうしても水體そのものの混合なくては行はれ得ないし、水そのものの混合があれば當然鹽分もそれに伴つて轉移混合せねばならないからである。又この交換作用があるからこそ、海水中の重水濃度が上下大差なく、數千米の深層まで豫想外にも表面濃度に近い理由が了解出来ると思はれる。

(2) 水素イオン濃度 [I]系統中の海水の pH は 8.24~8.34 で殆んど變りがないから重水濃度との關係を出すことが出来ないが、矢張り寧ろ無關係といつてよいかと思はれる。

(3) 水温との關係 同じく [I] 系統の海水につき重水濃度と水温とを縦横軸に取つてプロットすれば第 2 圖右の如く、水温の高い水が重水濃度も大きい傾向が見える。然し其の關聯は甚だ粗である。而も之は直接の關聯ではなくて、流過距離或は海流を媒介としての間接關聯にすぎないことが後節の研究から知られる。蓋し水温は南方系暖水では夫れが北上する間の冷却によつて低下するのであつて、周圍の水との混合によるのは僅微である。従つて海水の流過距離と共に、交換反應によつて重水の濃度を變じ、冷却作用によつて水温低下を來し、かくして重水濃度と水温とが間接的に關聯をもつにすぎない。其の關聯が甚だ粗であるのも亦當然である。

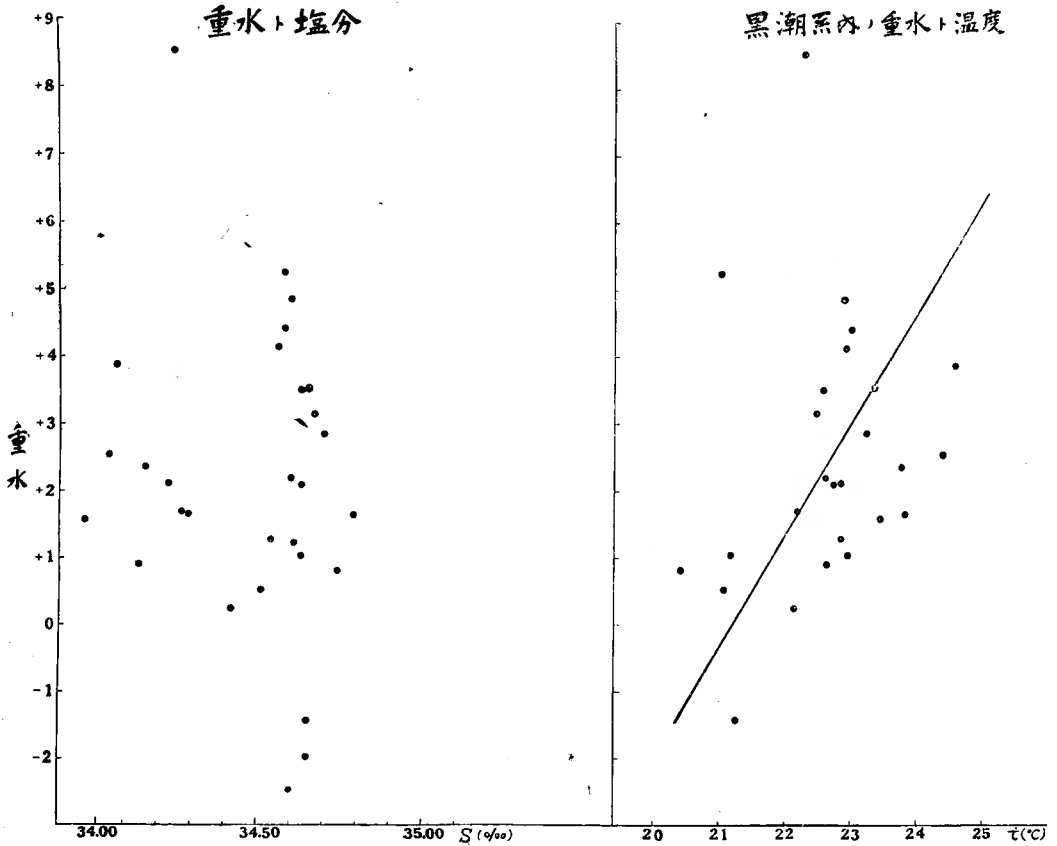
カムチャツカ沿岸 [III] の水については、水温と重水濃度との關係が一層良好の様であるが(第 4 圖参照)、それでも E4 の如く全く埒外に逸脱するものがある。之も重水と水温との關聯が直接でなく間接的二次性のものであるが爲で、局所の特殊事情により水温だけ異常變化をなし得るのである。

支那沿革の [II] 系の水は重水濃度も温度も餘り變らぬ爲、其の間の關係を窺ふには不充

# 海水中の重水と水系

分である。

第2圖 重水濃度と鹽分及び水温



(4) 比容との関係 [I] 系の重水濃度と比容とを對比した圖を作れば、矢張り多少の關聯が見え、比容の大なる水が重水に富む様であるが、其の關聯は水温の場合よりも一層粗である。それも其の筈で、水温の相違によつて比容が變り重水濃度と多少の關聯を示すにすぎない、換言すれば比容と重水濃度とは水温を介して二重の間接的關聯を保つにすぎないからである。

(5) 測線上の距離との關係 本邦南方海面に於ける[I]系の水の内、測線 A, B, C 毎に距離と重水濃度をプロットすれば、第3圖 A, B, C を得る。

B 觀測線に就いては明かに、重水濃度が南方ほど大で、北方に進むに従ひ小となつて其の關係は大體直線的である。

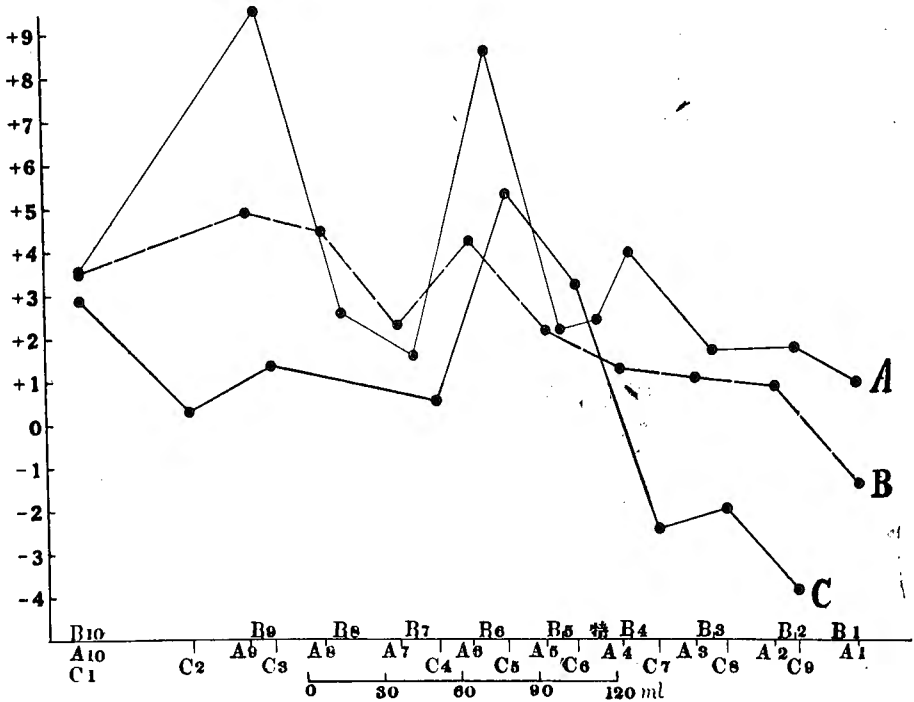
## 海水中の重水と水系

A観測線に就いても、大勢は南方に重水濃厚で北するにつれ減少する。但しB線上に於けるよりも浮動が甚だしい。然し之は後に分る通り黒潮の流向變化によるのである。

C観測線に就いては、C<sub>5</sub> 測点を界として二群に分れ、其より以北は重水濃度の南方大、北方小なる關係が極めて顯著に現はれるに反し、C<sub>4</sub> 以南は同じ傾向があるにはあるけれども頗る輕微である。かくなる理由も矢張り後に分る如く海流の経路方向如何に關するのである。

第3圖 距離と重水濃度(本邦南方海面)

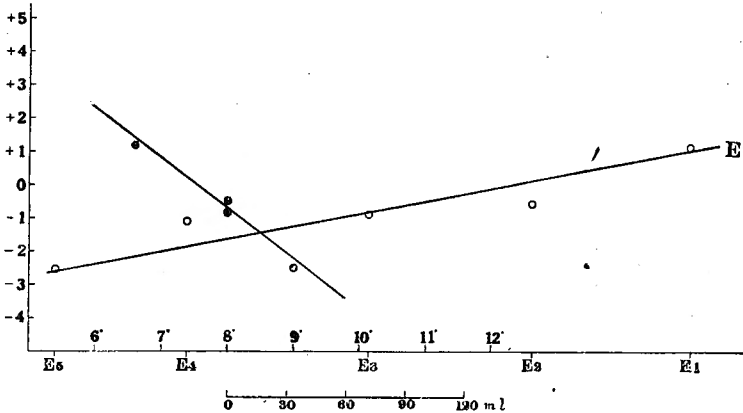
### 黒潮流域、重水変化



次にカムチャツカ東沿岸〔III〕系の水に就いて同様の關係を示せば第4圖の通りである。重水濃度と距離とは他の何れの場合よりも規則正しき直線關係を示し、南方に重水多く北方に少い。但し此の場合には各資料とも常水より重水濃度少なく負であるから、重水濃度の偏差としては北方に大で南方に小といふことになる。何れにせよ此の場合の重水と距離との關係が最も規則正しい直線關聯を示すことは、恐らく此の觀測線が全く親潮海流内を其の流路に平行に縦斷して居るがためだと想像せられる。

## 海水中の重水と水系

第4圖 カムチャツカ東岸の距離と重水(○) 附 水温と重水(●)



次に支那沿岸の水に就いては、採水點が僅か5點にすぎない上に、其の採水日時が餘程隔つて居るから、精細なことは言へないけれども、大體に於て各點とも重水濃度は均一に近い様である。之は此の附近海面に大した海流のないことと調和するものと思はれる。尤も採水日から見ると、 $D_1$ と $D_2$ は一日以内に採取されて居るから一群とし、同様に $D_3$ と $D_4$ を他の一群とすることが出来るが、此の兩群及び $D_5$ は其の採水期の間に夫れぞれ一週間ほどの隔りがあるから、重水濃度の微小な差異を論ずる場合には、是等の各群は別々に取扱ふのが妥當である。さうすると、 $D_1$ は其の北の $D_2$ より重水が多く、 $D_4$ はその北方の $D_3$ よりは重水が多い。つまり此の海區でも重水濃度は南方に大で北方に小である。換言すれば常水よりも重水の少ない負の偏差は北方に大で南方に小となつて居るので、寒流性の支那海流が微弱ながら南下しつゝあることを示す様にも思はれる。要するに此の海區では重水濃度の位置的な相異は僅微である。

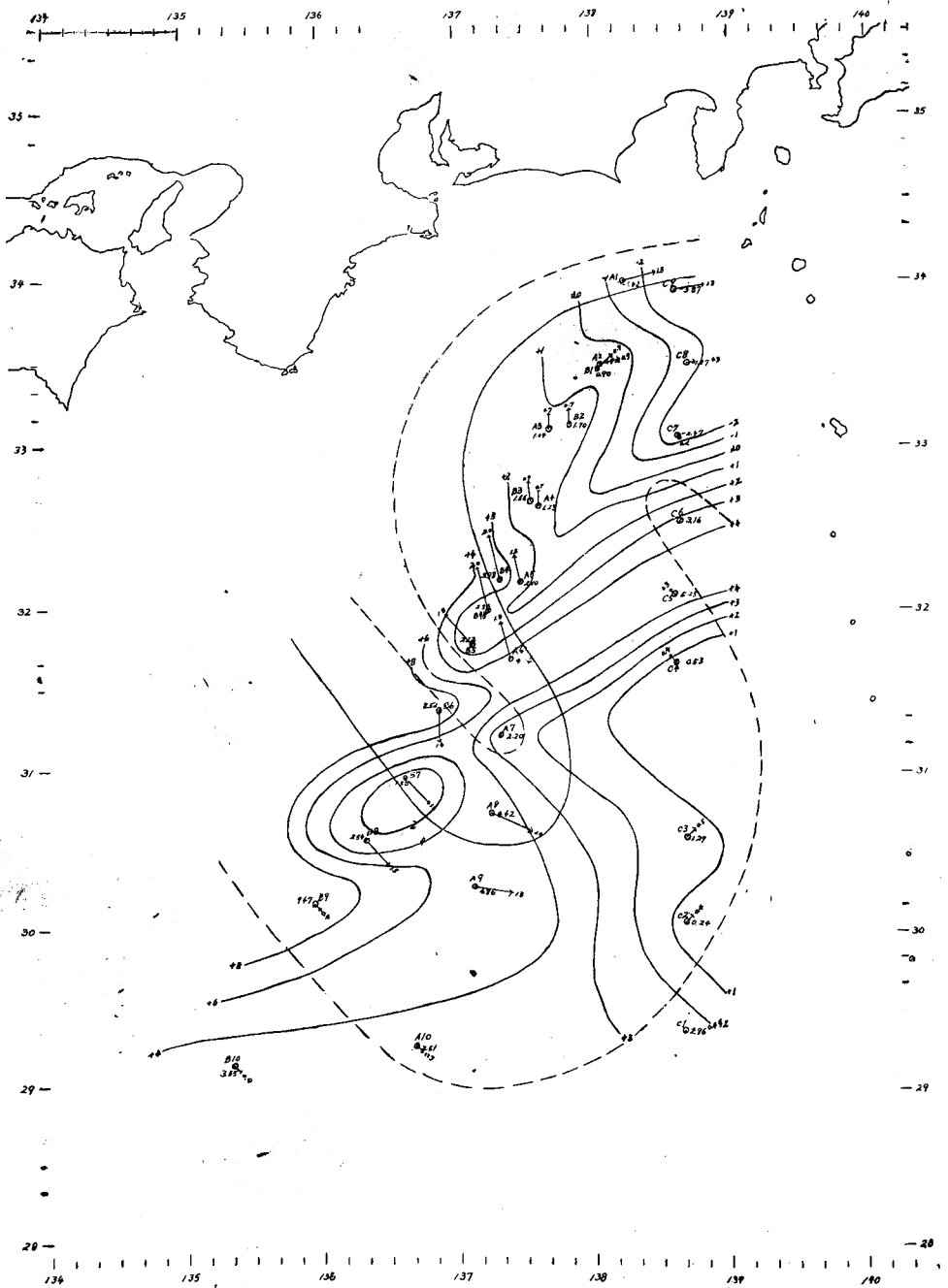
### 4. 重水濃度と海流

以上の研究途上に於て、吾々は海流が重水濃度の分布に著しい役目を演ずるのではないかとの示唆を受けた。仍つて茲に改めて兩者の關係を検討する。

(1) 黒潮系 先づ本邦南方海面の黒潮系觀測結果によつて重水の等濃度線を引く。測點が全部で30しかないから、餘り充分ではないが、第5圖の實線の様なものが得られる。次に各測點に於ける海流の流向及び流速をベクトルにて示す。この海流の流速流向は實測又は力學的計算によつて算出されたものである。是等によつて海流の流路を推定したも

# 海水中の重水と水系

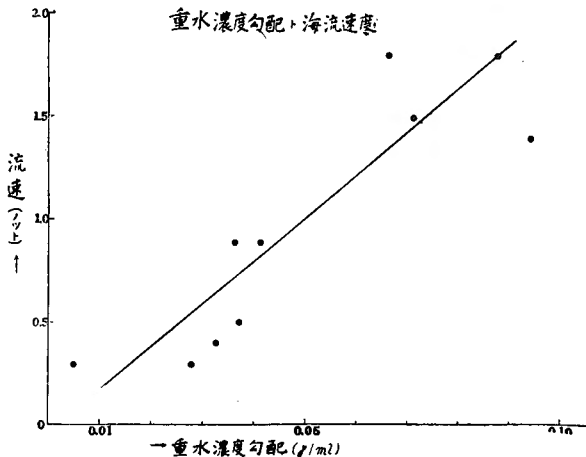
## 第5圖 重水等濃度線と海流



のが圖の點線によつて示した曲線である。

此の圖で第一に目を惹くことは、重水の等濃度線が殆んど全部海流の流線と直交することである。かく等濃度線の orthogonal trajectory が直ちに流線になるといふことは、或は偶然の一致と見る人もあるかも知れぬが、偶然にしては餘りに合ひすぎる。それで吾々は之を偶然ではなくて斯くなるべきものと考え(理由は後に考究する)、等濃度線から其の重水傾度を求め、その内割合確實に算定せらるゝ A1, A2, A9, A10, B1, B特, B5, B6, B10, C3, C8 の諸點に於ける重水濃度の勾配と海流の流速とを圖示すれば、第6圖の様になる。濃

第6圖 重水濃度の勾配と流速との關係



度勾配の大きい處が流速も大である。即ち重水濃度勾配と流速とは完全に比例しないまでも、大體に於て濃度勾配に應じて流速がきまる様である。又流水の方向は、この黒潮系にありては、重水濃度の小なる方から大なる方へ向いて居る。之によつて之を見れば、暖流系では發現地たる熱帯方面の強烈な蒸發によつて出來た濃厚なる重水の front が南方より押して來て、流水と共に等濃度面が前進する間に、交換作用によつて周圍に重水素を附與し自らの重水濃度を遞減する。而して流速の遅い處は速い處よりも、同じ距離を行くのに長時間を要するから、前の水と後の水との間に於ける交換作用が著しく進み均一濃度に近づかうとし、重水濃度の勾配が低下するのではあるまいか。

(2) 親潮系 次に此の考へを押し擴めてカムチャツカ東方の觀測結果に適用して見よう。寒流系に於ては重水濃度が其の起源に近いほど negative に多い様であることは既述の通りであつて、従つて海流の流向は暖流系の場合とは逆に、重水濃度の小なる方より大

なる方へ、云ひ換へれば negative に大なる方より小なる方へ流れるであらうと豫想される。そこで〔III〕の観測結果を見るに、測點が僅か5點であるから勿論等濃度線を引くことは出来ないが、測點間の重水濃度變化の狀況は前掲第4圖の様に大體直線的であり、且つ測點を結ぶ航路も概ね直線である。従つて是等よりして重水等濃度線が引けないまでも、それが航路と甚だしい鋭角をなして交はるものではなく、直角に近い角をなすであらうと思はれる。一方此の附近の海流は、今回實測されたのではないけれども、在來の諸説によつて親潮が大體航路に平行に存在するものと想定される。従つて茲でも亦海流と重水等濃度線とが略ほ直交することとなり、而も寒流は重水濃度の negative に大なる方より小なる方へ流れることがことが分る。尙ほ今回の観測區域では重水濃度の Gradient が略ほ均一であることから、親潮の速度も亦此の範圍では略々均一であると推定してよい様である。果して然るや否や後日の實證に期したい。

(3) 東支那海流系 更に支那沿岸の観測結果〔II〕に同じ見解を適用して考へると、是等の測點に於ける重水濃度の差異は甚だ微小であるから、此の邊には海流らしいものは無いのではあるまいか。事實今回の測點位置は距岸僅かに數哩乃至十數哩程度にあつて、東支那海流の流域からは少し外れて居る様であり、又元來が大した勢力でもない東支那海流のことであるから、重水濃度に目立つ程の影響を與へ得ないのであらう。尤も重水濃度に微差はあり、而も試料を  $D_1$ ,  $D_2$  と  $D_3$ ,  $D_4$  の二群に分けて考へれば、僅微の南流を示す様にも思はれるが、とても確言出来る程のものではない。寧ろ此の微差は河水等の影響で生じたものではあるまいか。

(4) 終りに一言して置きたいことは、等鹽分線や等溫線其の他海水の物理的化學的性質の等値線は大抵海流の方向に並行若くは長い舌狀となるのに、重水の等濃度線だけが海流の流路と直交するのは何故かといふことである。

鹽分や溫度其の他が周圍の水に移つて行くのは、主として亂流の器械的交換作用 (Austausch) により、水の實質的混合が行はれるからである。然るにかゝる實質的混合が十數呎或は數十呎(測點間隔)の範圍まで達することは中々容易でないことは、僅か數百乃至數千米の深さでさへ水温の著しい相違が取除かれない事實を見ても思ひ半ばに過ぎるであらう。かやうに時間的變化の極めて緩慢な量は、相當優勢な海流域に在つては先陣と後陣との間に殆んど差が生じ得ず、従つて等値線が流路に並行となるのは當然である。

之に反し、重水の傳播移行は主として輕重兩水素原子の化學的交換作用によるのであつて、前者に比すれば著しく迅速に行はれ、既述の如く海中四五千米の深部まで重水濃度が上下均一に近い事實は之を證明するものと私共は信ずる。かやうに時間的變化が迅速で海流の速さに比較出来るほどである場合には、水が流れて幾らか進行する間には重水濃度も相當量變化し、従つて等濃度線が流路に直角に近く並列するのは當然である。否寧ろ、通俗の常識では、重水濃度の様に流れが進むにつれて漸次に遞變して等値線が直角に並列することこそ、最も了解し易い普通の事象であつて、等鹽分線や等溫線の様に流向に平行する現象の方が却つて難解である。海流の中軸は何百軒甚だしきは何千軒も鹽分や溫度が不變であることは、海洋の實測が進んだ結果發見されたもので、初期學者は却つて海水間に於ける鹽分や水溫の移動が斯程までに緩慢なると驚いた次第なのである。

以上要するに、今回の觀測海區に於ける重水濃度の分布は主として海流に左右され、海流の流程従つて測點距離と間接的二次的關聯が生じ、又延いては水溫とも間接に關係が生ずる。然し夫等は實質的直接關係ではないのである。

## 結 論

以上を總括すれば、

i) 海面上の重水濃度分布を研究する目的を以て、本邦南方海面黑潮流域内に 30 點、カムチャツカ東南岸親潮流域内に 5 點、東支那海流の流域と思はれる黃海沿岸に 5 點、合計 40 點の海水を採取して重水濃度を測定した。

ii) 黑潮系の海水は概して重水濃度が京都市水道水に比して大であり、親潮系或は東支那海流系の海水は京都市水道水に比して小で負値を示す。換言すれば、重水濃度は暖流系の海水に大であり、寒流系の海水に小である。

iii) 而もその重水濃度變化の傾向を検討すれば、黑潮系にありては重水濃度が南方ほど大きく、親潮系では北ほど愈々小で負値が甚だしい。即ち暖流系の海水は其の起源地に近いほど重水に富み、寒流系の海水は其の起源地に近いほど重水愈々少なく negative に大である。

iv) 重水濃度の分布は海流の流路及び流速に密接な關係があり、重水の等濃度線と海流の流線とは直交し、又濃度勾配と流速とは略ぼ直線的關係を示す。果して然らば重水濃度



の測定によつて海流推算の一方法が成立するわけである。

v) 同じ系統中の海水では、鹽分, Cl, pH, 現場比容などは重水濃度と殆んど關係が認められない。水温は多少重水濃度と關係を示すけれども、之は直接の實質的關係ではなくて、海流の流過距離を介する間接的な關聯に外ならぬ。

vi) 重水濃度が暖流系に大で寒流系に小なる理由は、蒸發による自然濃縮と氷雪の融解による自然稀釋に基づくものと思はれる。

蓋し、重水は輕水よりも少しく不揮發性であり沸騰點も少し高い。従つて實驗室で分別蒸溜により重水素を或程度までは濃縮し得ることは周知の事實である。然らば海面蒸發の盛んな熱帶方面の水が自然濃縮を受けて重水に富む様になるのは理の當然である。之に反し蒸發した水蒸氣とそれが凝結した天水は重水濃度小であらう。

重水は又輕水より氷點が少し低い。従つて寒海に海水が氷結するときには、氷は重水少く殘液は重水多くなるわけである。夫れで、萬年氷が張りつめ只凍るだけで融けることのない極寒海の海水は、Emeleus 等の北氷洋水測定に見る如く重水濃度大なるべきも、亞寒帶の寒流水は、重水の少ない氷や天から降つた雪などが融けて涵養するのであるから、重水の自然稀釋を受けて濃度が小さいのであらう。

vii) 起源地に於て重水の異常に豊富な暖流にせよ、又異常に寡少な寒流にせよ、夫れが中緯度に進行し來る間に漸次周圍の海水と重輕水素の交換を行ひ常態に近づく。然し其の交換は、海水の實質的混合による器械的交換によるのではなく、それよりも著しく迅速な化學的原子交換が主である。其の證據としては、重水濃度が鹽分や比容等に関係であること、海面水と深層水とで重水の上下差は餘り無いこと、重水の等濃度線が殆んど流線に直交することなどを掲げることが出来る。

本研究の試料水採取は水路部の好意によつたものであり、又實驗費の一部は「別府地獄の研究」に與へられた服部報公會の援助金中より重水の連關研究の意味にて支出した。茲に兩機關に對し深厚なる謝意を表する。